



EVALUACIÓN DE TECNOLOGÍAS DE MANEJO DE ARVENSES EN EL CULTIVO DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Frank Jorge Viera Barcelo^{1*} y L. Escobar²

¹Departamento de Producción, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de las Tunas, Cuba.

²Departamento de Agrotecnica, Empresa Azucarera Majibacoa. Las Tunas, Cuba *fviera@ult.edu.cu

Recibido: 08-10-14

Aceptado: 12-02-15

RESUMEN

La investigación se desarrolló en áreas de producción de la Empresa Azucarera Majibacoa de la provincia Las Tunas, Cuba; para hacer una evaluación económica, energética y ambiental de tecnologías de manejo de arvenses en caña planta de primavera quedada, en un suelo del tipo Vertisol. En el área experimental se trazaron parcelas, según un diseño de bloques al azar con cuatro réplicas, se evaluaron nueve tecnologías, donde se combinaron el control mecánico y el químico, se utilizó la limpia manual, la tracción animal, el cultivo mecanizado y como medios de aplicación de herbicidas, máquina y asperjadora manual. A las diferentes tecnologías se le determinó utilidades económicas, eficiencia energética, carga contaminante hacia la atmósfera y efectos sobre la compactación del suelo a través de la resistencia a la penetración. Se obtuvo que las tecnologías más eficientes de modo general resultaron aquellas que incluyeron el herbicida Isoxaflutol, donde se utilizó menor cantidad de pases de implementos agrícolas y aplicaciones de herbicidas.

Palabras clave. *Saccharum officinarum* L., herbicidas, medio ambiente, energía.

EVALUATION OF TECHNOLOGIES OF WEED CONTROL IN THE SUGARCANE FIELD

SUMMARY

The research was carried out in areas of production from Majibacoa Enterprise, Las Tunas province, Cuba, to make an economic, energetics and environmental evaluation of technologies of weed control in spring cane plant, in a Vertisol soil. In the experimental area parcels were traced, according to a random blocks design with four replications. Nine technologies were evaluated, where the mechanical control and the chemical were combined with the manual cleaning, the animal traction and the mechanical cultivator was used and as means of application of herbicides, it sprayer machine and backpack. To the different technologies it was determined economic utilities, energy efficiency, loads pollutant toward the atmosphere and effects on the compaction of the soil through the resistance to the penetration. It was obtained that the most effective technologies were those that included the Isoxaflutol herbicide, where it was used smaller quantity of agricultural implements passes and applications of herbicides.

Key words. *Saccharum officinarum* L., herbicides, environment, energy efficiency.

INTRODUCCIÓN

Las arvenses afectan severamente la producción de caña de azúcar; lo que requiere de un control integrado, utilizando todos los medios disponibles en el momento oportuno. Este se debe iniciar inmediatamente después de la plantación o la cosecha. La competencia en los primeros cuatro meses provoca las mayores reducciones de los rendimientos de caña y azúcar, esto es lo que se conoce como período crítico. Comúnmente se necesitan de tres a cuatro labores de desyerbe en esta etapa (Rodríguez y Díaz, 2012).

Las mismas condiciones que favorecen el crecimiento del cultivo de la caña de azúcar en grandes extensiones, son favorables para el desarrollo de las arvenses. El control de las mismas puede representar del 18-28% del coste de cultivo o 5-6% del coste de producción (Edmond, 2007; Colong y Campbell, 2010).

Para controlar estas plantas que son consideradas plagas en los cultivos, se utilizan diferentes métodos, como son: agrotécnicos, físicos, mecánicos, biológicos y químicos; dentro de estos existen diferentes variantes o formas de realizarlos. El control químico de arvenses es más económico que el control manual y junto al control mecanizado muestran mejores relaciones beneficio/coste que otros métodos (Sarwar *et al.*, 2010). Esto se debe fundamentalmente a que al manejarlas de forma manual la productividad es muy baja y se necesita gran cantidad de obreros por hectárea y la mano de obra es muy costosa en la mayoría de los países.

El tránsito de la maquinaria agrícola es una de las causas fundamentales de la compactación de los suelos, también son una fuente importante de contaminación atmosférica, debido a la emisión de gases producto de la combustión del diesel. Con el uso de tecnologías de cultivo que incluyan varios tipos de tractores e implementos, se alcanzan diferentes balances energéticos, debido fundamentalmente a los diferentes consumos de combustible (Olivet y Cobas, 2013).

Comprender los flujos y balances de energía es un elemento básico para lograr la sostenibilidad energética, importante por razones económicas, ecológicas y sociales. El conocimiento y la cuantificación de la eficiencia energética de los sistemas de producción de alimentos, deberían constituirse en una herramienta fundamental para el diseño de mejores estrategias de manejo agrícola y toma de decisiones políticas. Por ello resulta prioritario incorporar los elementos metodológicos necesarios con el objetivo de diseñar sistemas sustentables para la producción de alimentos y energía. Este paso constituirá un elemento decisivo para un uso más eficiente de las fuentes energéticas disponibles, tanto biológicas como industriales (Funes, 2009).

En Cuba se reportan numerosas investigaciones sobre diferentes métodos de control de arvenses en el cultivo de la caña de azúcar; en ellas predominan las evaluaciones de la efectividad técnica y la valoración económica, pero no se reportan trabajos sobre balances energéticos y son escasos los relacionados sobre daños al ambiente. Esta situación ha sido reportada en nuestro país en unidades de producción agrícola, ganaderas y en las integradas (Funes, 2009). Si se aplicaran tecnologías eficientes desde el punto de vista energético, económico y ambiental sería posible obtener producciones sustentables en el cultivo de la caña de azúcar.

Por lo que en este trabajo se desarrolló una evaluación económica, energética y ambiental de tecnologías de manejo de arvenses en caña planta de primavera quedada, en un suelo del tipo Vertisol, de la Empresa Azucarera Majibacoa de la Provincia Las Tunas.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento de campo se llevó a cabo en áreas de producción de la Empresa Azucarera "Majibacoa", ubicada en la zona central de la provincia Las Tunas, Cuba; en la región oriental del país, al suroeste de la

provincia de Holguín, en un suelo del tipo Vertisol que abunda en varias zonas del país. La plantación se realizó en mayo del 2012 y la cosecha a los 20 meses en enero 2014, durante este período cayeron 240 mm de lluvia y la temperatura promedio fue de 28,5 °C. No se realizaron riegos ya que es un área de secano.

Al suelo del área experimental se le realizaron análisis físicos y químicos, en el Laboratorio Provin-

cial de Suelos (Cuadro 1). El P_2O_5 y K_2O se determinaron por la técnica de Machiguin, pH con el potenciómetro (1:2,5), materia orgánica por la metodología de Walkley Black y el índice de plasticidad mediante el método Atterberg (Castillo, 2008).

Se evaluaron nueve tecnologías de manejo de arvenses en el cultivo de la caña de azúcar, cultivar C 87-51, cepa primavera quedada (Cuadro 2).

Cuadro 1. Características químicas y físicas del suelo en el área experimental.

| Suelo | P_2O_5 mg/100 g de suelo | K_2O mg/100 g de suelo | pH (H_2O) | Materia orgánica (%) | Índice de plasticidad (%) |
|----------|-------------------------------|-----------------------------|------------------|-------------------------|------------------------------|
| Vertisol | 4,68 | 41,53 | 7,20 | 4,25 | 45,00 |

Cuadro 2. Tecnologías evaluadas.

| Tecn | No. de pases |
|--|--------------|
| 1 Cultivadora de buey+ Azada | 8 |
| 2 Ametrina 2 kg ha ⁻¹ + 2,4D 2 L ha ⁻¹ (AM)+ Azada | 2 |
| MSMA 3 L ha ⁻¹ + 2,4D 2 L ha ⁻¹ (AM)+ Azada | 3 |
| 3 Ametrina 2 kg ha ⁻¹ + 2,4D 2 L ha ⁻¹ (AM) | 2 |
| MSMA 3 L ha ⁻¹ + 2,4D 2 L ha ⁻¹ (AM) | 2 |
| Cultivo con grada múltiple | 1 |
| Aplicación pre-cierre Glufosinato de amonio 2 L ha ⁻¹ (AM) | 1 |
| 4 Cultivador FC-8 + Azada | 5 |
| Cultivo con grada múltiple | 1 |
| Aplicación pre-cierre Glufosinato de amonio 2 L ha ⁻¹ (AM) | 1 |
| 5 Cultivador FC-8 + Ametrina 2 kg ha ⁻¹ + 2,4D 2 L ha ⁻¹ (AM) | 2 |
| MSMA 3 L ha ⁻¹ + 2,4D 2 L ha ⁻¹ (AM) | 2 |
| Cultivo con grada múltiple | 1 |
| Aplicación pre-cierre Glufosinato de amonio 2 L ha ⁻¹ (AM) | 1 |
| 6 Isoxaflutol 0,200 kg ha ⁻¹ (AM) | 1 |
| Cultivo con grada múltiple | 1 |
| Aplicación pre-cierre Glufosinato de amonio 2 L ha ⁻¹ (AM) | 1 |
| 7 Isoxaflutol 0,200 kg ha ⁻¹ (M) | 1 |
| Cultivo con grada múltiple | 1 |
| Aplicación pre-cierre Glufosinato de amonio 2 L ha ⁻¹ (AM) | 1 |
| 8 Isoxaflutol 0,200 kg ha ⁻¹ (AM) | 1 |
| Descepe, Finale 1,5% v/v+ Agrotín 0,15% v/v (AM) | 2 |
| Cultivo con grada múltiple | 1 |
| Aplicación pre-cierre Glufosinato de amonio 2 L ha ⁻¹ (AM) | 1 |
| 9 Isoxaflutol 0,150 kg ha ⁻¹ + Ametrina 1,5 kg ha ⁻¹ + 2,4D 2 L ha ⁻¹ (M) | 1 |
| MSMA 3 L ha ⁻¹ + 2,4D 2 L ha ⁻¹ (AM) | 2 |
| Cultivo con grada múltiple | 1 |
| Aplicación pre-cierre Glufosinato de amonio 2 L ha ⁻¹ (AM) | 1 |

Tecn: tecnologías; (M): máquina asperjadora; (AM): asperjadora manual; v/v: volumen- volumen 2,4 D Sal amina (Ácido 2,4- diclorofenoxiacético), Ametrina (2 etilamino 4 isopropilamino 6 metiltio S triazina), MSMA (Metilarsenato monosódico).

Condiciones experimentales

Diseño experimental. En bloques al azar; se marcaron franjas en el campo con la ayuda de estacas de madera, formadas por ocho surcos de caña de 100 m de longitud y una distancia de camellón de 1,60 m, estas parcelas tuvieron un área de 1280 m². Las nueve tecnologías evaluadas constituyeron los tratamientos, cada una se aplicó en cuatro franjas de terreno, que se consideraron como réplicas.

Fitotecnia aplicada

La preparación de suelo se realizó con el tractor Belarus 1221 y el arado MAU-250-C (labores de rotura y cruce) y con MTZ-80 dos pases de grada media, a este mismo tractor se le acopló el surcador de tres órganos de trabajo, el cultivador FC-8, grada múltiple, fertilizadora F350 y máquina asperjadora Máñez Lozano (fabricada en España), la cosecha se realizó con una combinada KTP-2M. Las aplicaciones del herbicida Isoxaflutol se realizaron inmediatamente después de la plantación con máquina o asperjadora manual, Ametrina+ 2,4 D se aplicó a los 10 y 35 días de la brotación y MSMA+ 2,4D a los 60, 80 y 100 días, cuando las plantas de caña tenían una altura superior a los 60 cm, el pase de la grada múltiple se realizó a los 100 días y la aplicación de herbicida precierre con Glufosinato de amonio a los 120 días de la brotación. En la fertilización se aplicó 90 kg ha⁻¹ de nitrógeno, 30 kg ha⁻¹ de fósforo y 60 kg ha⁻¹ de potasio en forma de Urea CO(H₂N)₂ 46%, Superfosfato triple 3Ca(H₂PO₄)₂ 46% y Cloruro de potasio KCl 60%, respectivamente, se realizó a los 15 días de la germinación, enterrando los fertilizantes en el suelo a 15 cm del surco.

Evaluaciones realizadas

Ingresos de energía (IE)

Ingresos de energía (Input)=Energía directa (ED) +Energía Indirecta (EID); por ED se consideró la perteneciente al combustible consumido y la EID la relacionada con los fertilizantes, herbicidas, semilla, gasto de energía humana y animal y por los equipos mecánicos (tractores y combinada KTP-2M).

Egresos de energía (EDE)

Los egresos de energía (output) son los que aporta la azúcar producida y los derivados del proceso industrial.

La industria Majibacoa en ese momento, producía por cada tonelada de caña procesada: azúcar 110,0 kg, alcohol 11,0 l, electricidad 20 kW h, biogás 1 m³ y residuos agrícolas cañeros (RAC) 0,2 t.

Eficiencia energética (EE)

$$EE = EDE/IE \text{ (MJ ha}^{-1}\text{)}$$

Para determinar los consumos energéticos en todas las tecnologías se utilizó la metodología planteada por Hetz y Barrios (1997), siguiendo el procedimiento y las sugerencias de Paneque *et al.* (2002), en las condiciones de Cuba. Incluye toda la energía en la ejecución de las labores de cada tecnología. Se utilizaron los coeficientes energéticos de los diferentes recursos (Cuadro 3).

Resistencia a la penetración

Para determinar la resistencia a la penetración (RP) del suelo, se utilizó un penetrómetro digital modelo TJSD-750, hasta una profundidad de 30 cm, que es donde se desarrolla el mayor volumen de raíces en este cultivo. Se realizaron 50 evaluaciones por cada una de las réplicas en las diferentes tecnologías.

Carga contaminante a la atmósfera

Para determinar esta contaminación, se parte del principio de funcionamiento del motor de combustión interna, donde al quemarse un kg de combustible diesel, si la combustión es completa, la atmósfera recibirá una contaminación expresada en kg de gases contaminantes por hectárea (Mordujóovich, 1996).

$$CC = (1 + \alpha_l) nC, \text{ kg ha}^{-1}$$

CC_ carga contaminante que genera el combustible diesel quemado para ejecutar la tecnología.

α_l _ coeficiente de llenado, para el combustible diesel, se consideró 1,40.

l_o _ cantidad de aire necesario para quemar un kg de combustible: 15,10 kg.

nC _ cantidad de kg de combustible consumido por hectárea en cada tecnología.

Cuadro 3. Valores energéticos de referencia para los diferentes recursos utilizados y los obtenidos.

| Concepto | Unidad | Energía (MJ/Unidad) | Referencias |
|--------------------------|----------------|---------------------|-----------------------------------|
| Fertilizante fosfórico | kg | 14,00 | (Karimi <i>et al.</i> , 2008) |
| Fertilizante potásico | kg | 9,68 | |
| Trabajo humano | h | 1,90 | |
| Trabajo yunta de bueyes | h | 2,10 | (Dos Santos <i>et al.</i> , 2000) |
| Herbicidas | kg | 418,00 | |
| Combustible diesel | L | 47,80 | |
| Semilla | t | 15,60 | (Ander-Egg <i>et al.</i> , 2008) |
| Azúcar | kg | 15,80 | |
| Alcohol | kg | 26,80 | |
| Electricidad | Kw h | 10,32 | |
| Biogás | m ³ | 360,00 | |
| Residuos agrícolas (RAC) | t | 80,00 | |

Rendimiento agrícola

El rendimiento agrícola se determinó pesando la caña de los cuatro surcos centrales de cada réplica, con un dinamómetro acoplado a una alzadora, MTZ80 – 6KM (alzadora). No se pesó la caña de los 5 m al inicio y final de cada surco para eliminar el efecto de borde, evaluándose 80 m lineales en cada uno.

Valoración económica

Para realizar la valoración económica se determinó el coste de cada tecnología en el manejo de arvenses según el precio de los diferentes herbicidas y sus dosis, gastos en salarios y coste del combustible; el coste total (CT) incluyó el coste anterior más el del resto de las labores como preparación de suelo, plantación, fertilización y cosecha. Con el rendimiento agrícola y el precio de venta de la tonelada de caña se obtuvo el ingreso por venta (IV).

Utilidades= IV- CT CUP ha⁻¹ CUP (peso cubano)

Procesamiento estadístico de los datos

A los datos se les aplicó la prueba de bondad de ajuste de Shapiro Wilks (modificada), cuando se comprobó que cumplían la normalidad, fueron sometidos a un análisis de varianza y para comparar las medias, se realizó la prueba de Tukey al 0,05 de significación. Se utilizó el paquete estadístico “Infostat” de la Universidad Nacional de Córdoba, Argentina, versión 1.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Ingresos de energía (IE)

Existieron diferencias significativas entre los ingresos de energía (Input), los mayores valores se obtuvieron en las tecnologías de manejo de arvenses 5, 3, 4 y 2 (Cuadro 4). En la tecnología 5 se alcanzaron altos Input debido al consumo de herbicidas, ya que se aplicaron en 5 oportunidades y se necesitó mucha fuerza de trabajo humana, también en la maquinaria hubo un considerable ingreso de energía ya que se realizaron dos pases con el cultivador FC-8.

En la tecnología 3 los mayores consumos de energía se debieron al gasto de herbicidas, ya que se aplicaron en 5 ocasiones.

En la tecnología 4 se consumió mucha energía, debido a que se realizaron 5 pases de cultivo con el FC-8 y limpia manual, por lo que se utilizó una considerable cantidad de combustible y de mano de obra.

En la tecnología 2 no hubo gasto de combustible en lo relacionado con el manejo de arvenses, sin embargo se aplicó el control químico y la limpia manual en 5 ocasiones.

Los menores input de energía se alcanzaron en la tecnología 1 a pesar de su gran consumo de energía humana y animal, pero no incluyó her-

Cuadro 4. Ingresos de energía durante todo el proceso de producción en el cultivo de caña de azúcar, en cepa de primavera quedada.

| Tecn | Combust (MJ ha ⁻¹) | Maq (MJ ha ⁻¹) | H y A (MJ ha ⁻¹) | Herbic (MJ ha ⁻¹) | Producción de semilla) (M ha ⁻¹) | Ferti (MJ ha ⁻¹) | Ingresos (MJ ha ⁻¹) |
|------|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--|---------------------------------|------------------------------------|
| 1 | 15 747,23 | 2 937,84 | 585,66 | 0 | 14 306,97 | 7 967,70 | 41 545,40 a |
| 2 | 16 063,86 | 2 937,84 | 301,45 | 3 762 | 14 306,97 | 7 967,70 | 45 339,82 f |
| 3 | 17 091,75 | 3 131,86 | 177,13 | 4 598 | 14 306,97 | 7 967,70 | 47 273,41 h |
| 4 | 18 109,70 | 3 907,94 | 296,17 | 836 | 14 306,97 | 7 967,70 | 45 424,48 g |
| 5 | 17 625,58 | 3 519,90 | 179,51 | 4 598 | 14 306,97 | 7 967,70 | 48 197,66 i |
| 6 | 16 301,71 | 3 131,86 | 166,96 | 919,6 | 14 306,97 | 7 967,70 | 42 794,80 c |
| 7 | 16 547,21 | 3 181,36 | 164,17 | 919,6 | 14 306,97 | 7 967,70 | 43 087,01 d |
| 8 | 17 193,47 | 3 131,86 | 168,86 | 836 | 14 306,97 | 7 967,70 | 43 604,85 e |
| 9 | 14 422,69 | 3 181,36 | 177,73 | 2 173,6 | 14 306,97 | 7 967,70 | 42 230,05 b |
| ES | | | | | | | 9,24 |

Tecn: tecnologías; Combust: combustible; Maq: maquinarias; H y A: humana y animal; Herbic: herbicidas;
 Produc: producción; Ferti: fertilizantes; ES: error estándar

bicidas ni maquinaria; también tuvieron un buen comportamiento las tecnologías 6, 7 y 9, debido a que al incluir el herbicida Isoxaflutol, se mantuvo por un largo período de tiempo el campo limpio y se necesitaron menos labores.

En la medida que el rendimiento agrícola supera las 40 t ha⁻¹, disminuye el número de pases de las combinadas en el surco, a la vez que el tiempo de llenado de los camiones y remolques es menor, lo que contribuye al ahorro de combustible y energía humana. También tiene una importante incidencia la calidad de los caminos y las velocidades de los equipos de tiro (Matos y García, 2012).

Egresos de energía (EDE)

Rendimiento agrícola (RA)

Los mayores egresos de energía (Output) se alcanzaron con las tecnologías 9, 8, 3 y 5 y el menor valor en la tecnología 1 (Cuadro 5), entre todos estos resultados existió diferencias significativas; sus valores estuvieron directamente relacionados con los rendimientos agrícolas que se obtuvieron.

Con la tecnología 8 se alcanzó el mayor rendimiento agrícola, sin superar significativamente

a las tecnologías 3 y 9, el menor valor se obtuvo en la tecnología 1, superada significativamente por las restantes, en el resto los valores fueron muy similares.

Las características físicas y químicas de este suelo, no constituyeron un factor limitante para este cultivo (Cuadro 1), el contenido de P₂O₅ y K₂O asimilables se consideran altos, el pH fue neutro, el contenido de materia orgánica: medio y según el índice de plasticidad: suelo plástico. Para hacer estas evaluaciones se tuvieron en cuenta las tablas de interpretación de análisis de suelo (Martín, 2004).

Eficiencia energética (EE)

Las mayores eficiencias energéticas se alcanzaron en las tecnologías: 9, 8, 3 y 6; en las 3 primeras debido a grandes egresos de energía por rendimientos agrícolas altos (Cuadro 6), el menor valor se obtuvo en la tecnología 2; la 1 tuvo una eficiencia energética superior a la 2 y 5, a pesar de tener el menor valor en los Output, pero presentó también el menor Input.

En granjas agrícolas de Irán se reporta que los mayores gastos de energía lo poseen la electricidad para el riego, combustible, maquinaria y fer-

Cuadro 5. Egresos de energía productos de la obtención de azúcar y otros derivados del proceso industrial.

| Tecn | Azúcar MJ ha ⁻¹ | Alcohol MJ ha ⁻¹ | Elect MJ ha ⁻¹ | Biogás MJ ha ⁻¹ | RAC MJ ha ⁻¹ | (EDE) MJ ha ⁻¹ | Rend agrícola T ha ⁻¹ |
|------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| 1 | 152 770,20 | 25 912,92 | 18 142,56 | 31 644,00 | 1 406,40 | 229 876,08 a | 87,90 a |
| 2 | 159 965,52 | 27 133,39 | 18 997,06 | 33 134,40 | 1 472,64 | 240 703,01 d | 92,04 b |
| 3 | 177 675,74 | 30 137,40 | 21 100,27 | 36 802,80 | 1 635,68 | 267 351,90 g | 102,23 de |
| 4 | 168 221,02 | 28 533,69 | 19 977,46 | 34 844,40 | 1 548,64 | 253 125,21 e | 96,79 c |
| 5 | 176 761,98 | 29 984,11 | 20 992,94 | 36 615,60 | 1 627,36 | 265 991,99 f | 101,71 d |
| 6 | 159 722,20 | 27 092,12 | 18 968,16 | 33 084,00 | 1 470,40 | 240 336,88 c | 91,90 b |
| 7 | 159 218,18 | 27 006,63 | 18 908,30 | 32 979,60 | 1 465,76 | 239 578,47 b | 91,61 b |
| 8 | 179 987,28 | 30 529,49 | 21 374,78 | 37 281,60 | 1 656,96 | 270 830,11 h | 103,56 e |
| 9 | 177 501,94 | 30 107,92 | 21 079,63 | 36 766,80 | 1 634,08 | 277 090,38 i | 102,13 de |
| ES | | | | | | 7,97 | 0,33 |

Cuadro 6. Eficiencia energética del proceso de obtención de azúcar de caña, en cepa de primavera quedada.

| Tecn | IE (Input) (MJ ha ⁻¹) | EDE (Output) (MJ ha ⁻¹) | EE |
|------|--------------------------------------|--|--------|
| 1 | 41 545,40 a | 229 876,08 a | 5,53 c |
| 2 | 45 339,82 f | 240 703,01 d | 5,31 a |
| 3 | 47 273,41 h | 267 351,90 g | 5,66 g |
| 4 | 45 424,48 g | 253 125,21 e | 5,57 e |
| 5 | 48 197,66 i | 265 991,99 f | 5,52 b |
| 6 | 42 794,80 c | 240 336,88 c | 5,62 f |
| 7 | 43 087,01 d | 239 578,47 b | 5,56 d |
| 8 | 43 604,85 e | 270 830,11 h | 6,21 h |
| 9 | 42 230,05 b | 277 090,38 i | 6,56 i |
| ES | 9,24 | 7,97 | 0,0013 |

Tecn: tecnologías; IE: ingresos de energía; EDE: egresos de energía; EE: eficiencia energética; ES: error estándar

tilizantes, con un valor total de 148 020 MJ ha⁻¹. La energía producida de 112 220 MJ ha⁻¹, por lo que se obtuvo una relación de 1,32. Para mejorar estos resultados en la producción de azúcar a partir de *Saccharum officinarum* L, se propone aumentar la eficiencia de los sistemas de riego, aplicar abonos orgánicos y optimizar la potencia de los tractores (Karimi *et al.*, 2008). Estos resultados difieren de los obtenidos en esta investigación debido fundamentalmente a que se obtuvieron mayores input, porque se aplicaron varios riegos y los output fueron menores, ya que el rendimiento agrícola obtenido fue bajo, debido a que esa investigación se realizó en un campo de caña de ciclo corto, al compararlo con el de

esta investigación que fue de 20 meses, donde las plantas de caña tienen mayor cantidad de tiempo para desarrollarse.

Carga contaminante a la atmósfera (CC) y resistencia a la penetración del suelo (RP)

Entre los valores de carga contaminante que se obtuvieron en las diferentes tecnologías existieron diferencias significativas (Cuadro 7), con los mayores valores en las tecnologías 4, 5 y 9, los menores en la 1 y 2, estos resultados dependieron directamente del consumo de combustible (Cuadro 4).

En la relación carga contaminante (CC)/rendimiento agrícola (RA), los mayores valores se alcanzaron con las tecnologías 4, 7 y 1, y los menores en la 8, 3 y 9.

Al evaluar diferentes tecnologías de labranza-siembra en la provincia de la Habana, Cuba, en el cultivo del frijol, se obtuvieron valores de carga contaminante de gases hacia la atmósfera de 515 a 983 kg ha⁻¹ (Ponce *et al.*, 2008). Los valores reportados por estos autores, son inferiores a los obtenidos en esta investigación, esto se debió fundamentalmente a que el cultivo del frijol es un cultivo de ciclo corto, por lo que lleva de modo general menor cantidad de labores fitotécnicas y la cosecha es más sencilla respecto al cultivo de la caña de azúcar, también emplearon algunas

Cuadro 7. Carga contaminante a la atmósfera producto a la combustión del diesel y resistencia a la penetración del suelo.

| Tecn | CC kg ha ⁻¹ | CC por t de caña kg t ⁻¹ | RP (MPa) |
|------|---------------------------|---|-------------|
| 1 | 6564,47 a | 74,68 | 1,65 abc |
| 2 | 6696,33 b | 72,75 | 1,62 a |
| 3 | 7124,89 e | 69,69 | 1,63 ab |
| 4 | 7549,21 i | 77,10 | 1,69 c |
| 5 | 7347,41 h | 72,24 | 1,67 c |
| 6 | 6795,51 c | 73,94 | 1,62 a |
| 7 | 6897,88 d | 75,30 | 1,67 bc |
| 8 | 7167,13 f | 69,21 | 1,62 a |
| 9 | 7233,39 g | 70,83 | 1,67 c |
| ES | 0,42 | | 0,01 |

CC: carga contaminante; RP: resistencia a la penetración del suelo; ES: error estándar

prácticas agroecológicas como por ejemplo la tracción animal y la siembra manual.

El mayor valor de resistencia a la penetración del suelo hasta los 30 cm de profundidad se alcanzó donde se aplicó la tecnología 4, sin diferir significativamente de la 1, 5, 7 y 9; esto posiblemente se debió a que en la tecnología 4 fue donde se realizaron la mayor cantidad de labores con tractores, 5 pases del tractor con el FC-8 y cultivo con la grada múltiple, en las tecnologías 7 y 9 no se utilizó el FC-8 pero si se realizó la aplicación del Isoxaflutol de forma mecanizada, que incluye el peso del tractor y el de la asperjadora con una capacidad inicial de 800 L de agua. Las labores de cultivo con el cultivador FC-8 y la grada múltiple penetran alrededor de 10 cm en el suelo, el arado durante la preparación de suelo profundizó alrededor de 30 cm, por lo que el piso de aradura estaría a partir de esta profundidad, debido a esto las diferencias entre las tecnologías respecto a la resistencia a la penetración del suelo se pudieron deber a la compactación causada por el tránsito de los tractores con los implementos agrícolas.

La compactación del suelo es una consecuencia directa de la intensidad del tránsito, especialmente de labores que requieren el pase repetido de cargas. Una de las mediciones para

evaluar la compactación inducida en la masa de suelo es la resistencia a la penetración (RP), que depende de las propiedades del suelo. Su valor es un indicador de la interacción suelos-raíces; los valores de RP mayores que 2 MPa son considerados limitantes del desarrollo de las raíces (Kulkani *et al.*, 2010).

La cosecha en época seca protege al suelo contra el deterioro de sus propiedades físicas, en la parte superficial disminuye la alteración de su geometría. En una investigación realizada en Colombia, en un suelo de textura fina, con 23% de contenido promedio de humedad; se reportan valores de resistencia a la penetración antes de la cosecha de la caña de azúcar de 3,5 MPa y después de la misma con diferentes equipos de tiro, alrededor de 4,0 MPa (Rodríguez *et al.*, 2010).

En estudios realizados sobre la aplicación del laboreo mínimo en suelos arcillosos de Villa Clara, Cuba, se determinó que en la zona del camellón por donde circulan los equipos agrícolas, la estructura del suelo está algo alterada, sin embargo en la hilera de caña la compactación es menor, por lo que hay mejor aireación, debido a un mayor contenido de materia orgánica (Betancourt *et al.*, 2010).

Valoración económica

Las tecnologías de control de arvenses más costosas fueron la 2, 1 y 4, debido fundamentalmente al gasto en salario de la limpia con azada, ya que se realizaron en varias ocasiones. Los menores costes se alcanzaron con las tecnologías 7, 6 y 8 donde se aplicó Isoxaflutol como pre-emergente (Cuadro 8).

Los ingresos por venta dependieron directamente del rendimiento agrícola, el precio de venta de la tonelada de caña fue de 104,00 CUP (peso cubano).

Las mayores utilidades se alcanzaron con las tecnologías 8, 3, 9 y 5, con valores superiores a 9 294 CUP ha⁻¹, seguido por las tecnologías 4, 7 y 6, los menores valores se obtuvieron en las tecnologías 1 y 2.

Cuadro 8. Valoración económica.

| Tecn | Coste control de arvenses CUP ha ⁻¹ | Coste total CUP ha ⁻¹ | Ingresos por venta CUP ha ⁻¹ | Utilidades CUP ha ⁻¹ |
|------|--|----------------------------------|---|---------------------------------|
| 1 | 782,08 | 1 611,76 | 9 141,60 | 7 529,84 |
| 2 | 789,57 | 1 624,71 | 9 572,16 | 7 947,45 |
| 3 | 300,96 | 1 149,41 | 10 631,92 | 9 482,51 |
| 4 | 568,76 | 1 439,71 | 10 066,16 | 8 626,45 |
| 5 | 424,60 | 1 283,81 | 10 577,84 | 9 294,03 |
| 6 | 238,71 | 1 077,95 | 9 557,60 | 8 479,65 |
| 7 | 160,20 | 1 004,57 | 9 527,44 | 8 522,87 |
| 8 | 281,19 | 1 133,78 | 10 770,24 | 9 636,46 |
| 9 | 304,41 | 1 158,41 | 10 621,52 | 9 463,11 |

Tecn: tecnologías.

Las arvenses que aparecieron en el área experimental fueron: *Rottboellia cochinchinensis* Lour, *Dichanthium annulatum* Forsk, *Leptochloa panicea* Retz, *Cynodon dactylon* L., *Ipomoea trifida* Kunth, *Euphorbia heterophylla* L., *Bidens pilosa* L. y *Cyperus rotundus* L. Esta última especie presenta propiedades alelopáticas (Arévalo *et al.*, 2011).

Los herbicidas pueden mostrar efectos beneficiosos o adversos sobre otros organismos y no siempre es conveniente emplear el método de “control total” de arvenses, ya que la conservación de ciertos niveles de estas plantas, contribuye a disminuir las poblaciones de organismos herbívoros y aumentar los insectos benéficos (Andreas, 2011).

En esta investigación las aplicaciones de herbicidas, con diferentes mecanismos de acción, en la mayoría de las tecnologías, pueden contribuir a contrarrestar los efectos de la resistencia que van adquiriendo las arvenses a los mismos, lo que hace que disminuya la eficiencia de este método de control. En el mundo se incrementa la cantidad de especies de arvenses que han desarrollado resistencia a los herbicidas, un ejemplo de esto se reporta con las numerosas aplicaciones de Glifosato (Bonny, 2008 y Boerboom, 2009). Los beneficios económicos al usar labores de cultivo y aplicaciones de herbicidas de diferentes

modos de acción, fundamentalmente los residuales, varían en dependencia del tipo de cultivo, por lo que puede haber resultados positivos o negativos; lógicamente los rendimientos agrícolas tienen gran influencia en las ganancias que se obtengan. También los cultivares de caña de azúcar muestran diferentes grados de tolerancia a los herbicidas, por lo que si la fitotoxicidad provocada es alta, pueden haber afectación en el rendimiento agrícola (Rodríguez, 2010). Estas afectaciones no se pusieron de manifiesto en este experimento de campo.

El precio por el cual se adquirieron estos herbicidas fue: Diurón (6,19 CUP kg⁻¹), Ametrina (7,47 CUP kg⁻¹), 2,4 D Sal amina (4,73 CUP L⁻¹), Glufosinato de amonio (10,20 CUP L⁻¹) y el Isoxaflutol (149,25 CUP kg⁻¹). Este último producto es el más costoso, pero no incrementa mucho los costes de aplicación ya que se emplea en dosis muy bajas respecto a los restantes, también mantiene limpio el campo de arvenses por un largo período de tiempo, por lo que se necesita menor cantidad de labores de limpia (Rodríguez y Díaz, 2012).

En las evaluaciones realizadas se puede apreciar como los mejores resultados para lograr producciones sustentables, se alcanzaron de modo general en las tecnologías 8, 6 y 9, que incluyeron la aplicación del Isoxaflutol. En la 8, 9, 3 y

5 se obtuvieron los mayores rendimientos agrícolas, con las mayores eficiencias energéticas en la 9, 8, 3 y 6. En la relación carga contaminante/rendimiento agrícola las tecnologías 8 y 3 tuvieron los menores valores. Las tecnologías 8, 3, 9 y 5 se destacan en las utilidades, seguidas de la 4, 7 y 6. Los menores costes en el manejo de arvenses por hectárea lo presentaron las tecnologías 7, 6 y 8. En la resistencia a la penetración se obtuvieron valores muy similares, en el orden de 1,5 MPa, con los menores valores en las tecnologías 2, 6, 8 y 3, con una tendencia al incremento en aquellas tecnologías donde el tractor tuvo un mayor tránsito por el campo y se utilizó la aplicación de herbicidas con la asperjadora de suspensión (colgada del tractor). Aquí se puede apreciar que la tecnología 8 tuvo resultados positivos, en el rendimiento agrícola, eficiencia

energética, resultados económicos y en la carga contaminante a la atmósfera por tonelada de caña producida.

CONCLUSIONES

Las tecnologías de manejo de arvenses que tuvieron de modo general el mejor comportamiento desde el punto de vista energético, económico y ambiental fueron: 6, 8 y 9, las que incluyeron el herbicida pre-emergente Isoxaflutol, con los mejores resultados en la tecnología 8 donde se aplicó a 0,200 kg ha⁻¹ con asperjadora manual, dos pases de descepe químico con Glufosinato de amonio 1,5% v/v, cultivo con la grada múltiple y aplicación pre-cierre de Glufosinato de amonio a 2 L ha⁻¹.

BIBLIOGRAFÍA

- Ander-Egg, A.; L. Donato.; J. Hilbert.; I. Huerga.; F. Martín y J. Medina. 2008. Principales insumos para la producción de biocombustibles. [Informe, PSA 028/07]. Buenos Aires. INTA. 251 p.
- Andreas, K. 2011. Herbicides and Environment. 2ª Ed. Estados Unidos. Editorial, CC BY-NC-SA. 746 p.
- Arévalo, R.A.; E.I. Bertoncini.; E.M. Aranda y T.A. González. 2011. Alelopatía en *Saccharum* spp. (Caña de azúcar). *Avances en Investigación Agropecuaria* 15(1): 51-60.
- Betancourt, Y.; P. Cairo.; A. Gutiérrez.; I. García y A.E. García. 2010. Las propiedades físicas del suelo para definir la zona de aplicación del laboreo localizado en los suelos arcillosos pesados del norte de Villa Clara. *Ciencias Técnicas Agropecuarias* 19(1): 7-10.
- Boerboom, C. 2009. Giant ragweed with suspected glyphosate resistance. *Wisconsin Crop Manager* 16(16): 63-64.
- Bonny, S. 2008. Genetically modified glyphosate-tolerant soybean in the USA: Adoption factors, impacts and prospects. *Agronomy for Sustainable Development* 28(1): 21-32.
- Castillo, N. 2008. Evaluación de cuatro tecnologías de labranza sobre las propiedades físicas de un Vertisol y los rendimientos agrícolas y energéticos de la caña de azúcar (*Saccharum* spp. híbrido), en el CAI Majibacoa, en la provincia cubana Las Tunas. Tesis de doctorado en Ingeniería Rural. Madrid. Universidad Politécnica de Madrid. 162 p.
- Conlong, D.E. and P.L. Campbell. 2010. Integrated weed management for sugarcane field verges: *Melinis minutiflora* and *Cynodon dactylon* encroachment. *Proc S Afr Sug Technol Ass*, 83: 276-279.
- Dos Santos, H.; R.N. Fontaneli.; J. C. Ignackak e M. Zoldan. 2000. Conversão e balanço energético e sistemas de produção de grãos com pastagens sob plantio direto». *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 35(4): 743-752.
- Edmond, L.M. 2007. Outdoing the weed competition. *Sugarcane* 24(1): 10-12.
- Funes, F.R. 2009. Agricultura con futuro, la alternativa agroecológica para Cuba. 1ª Ed. Cuba: Estación Experimental «Indio Hatuey». Universidad de Matanzas. 176 p.
- Hetz, E. y A. Barrios. 1997. Reducción del costo energético de labranza/siembra utilizando sistemas conservacionistas en Chile. *Agro-Ciencia* 13(1): 41-47.

- Karimi, M.; A. Rajabi.; A. Tabatabaeefar and A. Borghei. 2008. Energy Analysis of Sugarcane Production in Plant Farms. A Case Study in Debel Khazai Agro-industry in Iran. *American-Eurasian J. Agric. and Environ. Sci.*, 4(2): 165-171.
- Kulkani, S.S.; S.G. Bajwa and H. Huitink. 2010. Investigation of the effects of soil compaction in cotton. *Transactions of the ASABE* 53(3): 667-674.
- Martín, N.J. 2004. Tabla de interpretación de análisis de suelo. 1a Ed. La Habana. Universidad Agraria. 17 p.
- Matos, N y E. García. 2012. Evaluación técnica y de explotación de los camiones en la transportación de la caña. *Ciencias Técnicas Agropecuarias* 21(2): 30-33.
- Mordujóvich, M.M. 1996. Fundamentos termodinámicos y funcionamiento del motor diesel del tractor. Manual de motores Diesel para tractores. 1ª Ed. Moscú. Editorial MIR. 685 p.
- Olivet, Y.E. y D. Cobas. 2013. Balance energético de dos aperos de labranza en un Fluvisol para el cultivo del boniato (*Ipomoea batata* Lam). *Ciencias Técnicas Agropecuarias* 22(2): 21-25.
- Paneque, P.; H.C. Fernández y A.D. de Oliveira. 2002. Comparación de cuatro sistemas de labranza / siembra con relación a su costo energético. *Ciencias Técnicas Agropecuarias* 11(2): 1-6.
- Ponce, F.; E. Álvarez.; Y. González e I. Hernández. 2008. Influencia de las tecnologías de labranza-siembra sobre los costos energéticos y de explotación de la técnica empleada y la contaminación del aire en el cultivo del frijol. *Ciencias Técnicas Agropecuarias* 17(4): 13-18.
- Rodríguez, F.R. 2010. Tolerancia diferencial de variedades de caña de azúcar al stress por herbicidas. *Bragantia* 69(2): 395-404.
- Rodríguez, L. y J.C. Díaz. 2012. Programa de control integral de malezas en caña de azúcar. 11ª Ed. La Habana. Editorial INICA. 169 p.
- Rodríguez, L.A.; J.J. Valencia y J.G. Bolivar. 2010. Tráfico de equipos de cosecha, compactación y efectos superficiales. *Revista Técnica* 26: 31-35.
- Sarwar, M.; S. Basher and F. Ahmad. 2010. Evaluation of integrated weed management practices for sugarcane. *Pak. J. Weed Sci. Res.* 16(3): 257-265.

